

广水河河流水质调查及健康评价

陈兰洲 陶可 赵剑 吴新国 张渝蕊 魏思洁 陶越

(武汉大学 资源与环境科学学院 湖北省环境修复技术研究中心 武汉 430072)

摘要 在充分调研分析国内外河流健康研究的基础上,建立了由 15 个评价指标构成的广水河河流健康评价指标体系,确定了河流健康状况的评价标准,将其健康水平划分为“很健康、健康、亚健康、不健康、病态”5 个等级,运用 AHP-综合指数法对广水河健康状况进行评价。结果表明:广水河健康综合指数为 3.1963,健康状况总体处于亚健康水平。广水河的河流健康状况主要存在以下问题:水量和水资源承载力不足;部分河岸坍塌;水体污染,部分河段呈轻度富营养化状态;水土流失加剧而导致河床淤积;水生生物减少。根据评价结果及问题分析,提出了相应的保护及修复措施,为广水河流域的保护提供了可借鉴的决策依据,也对同类型的河流保护具有一定的指导意义。

关键词 广水河; 河流健康评价; AHP-综合指数法; 修复措施

中图分类号 X172 文献标识码 A 文章编号 1672-4321(2019)01-0056-07

DOI 10.12130/znmzdk.20190110

引用格式 陈兰洲,陶可,赵剑,等.广水河河流水质调查及健康评价[J].中南民族大学学报(自然科学版),2019,38(1):56-62.

CHEN Lanzhou,TAO Ke,ZHAO Jian,et al.The river water quality investigation and health assessment of Guangshui River [J]. Journal of South-Central University for Nationalities(Natural Science Edition) ,2019,38(1):56-62.

The river water quality investigation and health assessment of Guangshui river

CHEN Lanzhou,TAO Ke,ZHAO Jian,WU Xinguo,ZHANG Yurui,WEI Sijie,TAO Yue

(School of Resource & Environmental Science,Hubei Research Center of Environment Remediation Technology,Wuhan University,Wuhan 430072,China)

Abstract Based on the definition of river health according to the references, the present work has established an evaluation index system including 15 indexes for health assessment of Guangshui river. The evaluation criteria of river health status were determined and the river health level of Guangshui river was divided into five grades: very healthy, healthy, sub-healthy, unhealthy and morbid. AHP-composite index method was used to evaluate the health condition of Guangshui river. The results showed that the composite health index of Guangshui river was 3.1963 and indicated that the overall health status was at sub-health level. The problem of the Guangshui river health was as follows: the insufficiency of water quantity and the bearing capacity of water resources; the collapse of partial banks; water pollution and mild eutrophication of partial reaches; the aggravation of water and soil erosion leading to the deposition of river bed; the reduction of biodiversity aquatic organisms. Based on the evaluation result and reason analysis, the protection and restoration measurements were proposed and decision bases were provided for the Guangshui river. The results also provide the guideline significance for the protection of the same type of rivers.

Keywords Guangshui river; river health assessment; AHP-composite index method; restoration

随着我国工农业发展,河流量不足、水体污染以及水体流失等环境问题日趋严重,部分河流的健康状况在不断恶化。因此,掌握河流健康水平,从而发现问题,并采取有效措施对河流进行保护和修复,已经

收稿日期 2018-12-04

作者简介 陈兰洲(1976-),男,教授,博士生导师,博士,研究方向:环境生物学,E-mail: chenlz@whu.edu.cn

基金项目 国家自然科学基金资助项目(91647204);湖北省技术创新专项资助项目(2017HB02,2016ACA162)

变得十分迫切和重要^[1]. 整体来看,国内关于河流健康评价已经开展了很多研究,主要在水文、水质、河岸带结构、河流形态、社会功能等方面,但是对于不同的河流,每个研究者的侧重点不同,导致在评价指标的选取和评价方法上存在较大的差异,在普适性上尚待进一步研究总结.

广水河位于广水市境东部,为灃河中支河流,长约 62.6 km,属季节性河流.广水河作为广水市东部的的主要河流,对于其流域内的经济和社会发展起到了重要作用.但是,随着社会经济的发展,工业废水和生活污水不断地排入河中,其水质受到了一定程度的影响.尤其是杨寨河段,自 20 世纪七十年代开始的特种金属冶炼及生产,对其下游河段的河水和底泥都造成了比较严重的重金属污染.本文针对广水河的特点,选取合适并能反映广水河实际现状的评价指标,以建立广水河健康评价体系,并采用 AHP-综合指数法对广水河健康状况进行评价,通过评价结果对

广水河的健康问题进行分析,期望能找到造成广水河健康问题的主要原因,以及综合系统地处理河流治理、开发和保护之间关系的方法,促进当地社会、经济和生态环境的协调发展.

1 材料与方法

1.1 研究区概况及采样点布设

广水河发源于广水市光头山南麓之寨沟,与应山河(西支)在王店镇合流后与大悟河在孝昌县并流,经孝感市卧龙乡入府河,再经灃水入汉江.广水河全长约 62.6 km,流域面积 502.6 km²,属季节性河流,河床为沙砾质河床,上游弯曲,中游和下游河道宽阔.广水河较大支流有武胜关河、金鸡河、霞家河、长胜河和李店细河等.2017 年 7 月,在广水河干流共设置 6 个采样断面,见图 1.采样断面的设置主要依据国标 GB/T12997-1991.6 个采样点分别分布在广水市、杨寨镇、王店镇的上下游等地点.

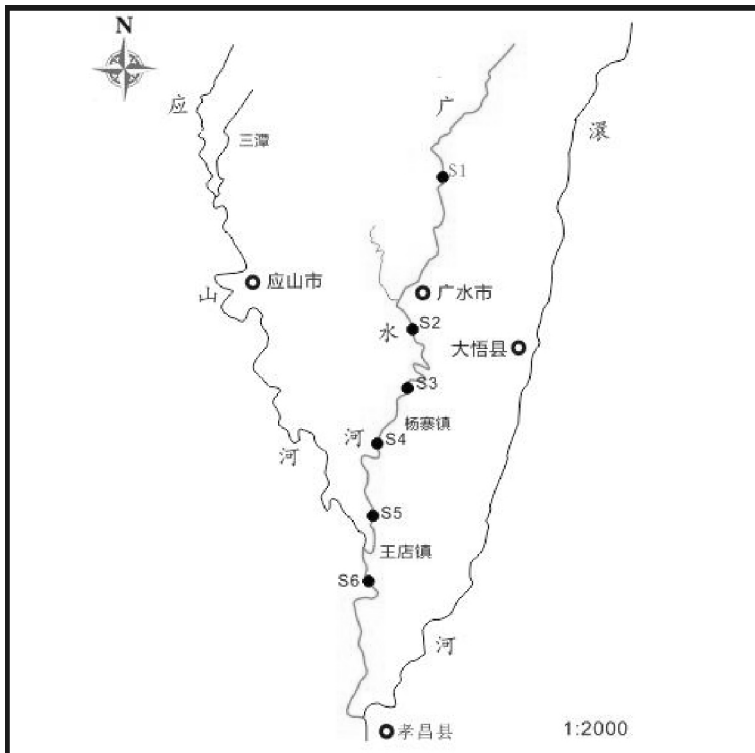


图 1 广水河采样点分布图

Fig.1 Location of sampling sites of Guangshui river

1.2 样品采集及分析

水文参数调查参照《河流流量测量规范》(GB50179-1993)进行,其中流速、流量等指标采用流速仪现场监测,浊度、水温等指标采用浊度仪、YSI 多参数水质测量仪等现场监测.河流形态根据实际测量或目测法,记录河岸侵蚀面积、人工渠化长度、护岸类

型、边滩植被盖度等^[2].河岸植被特征包括植被盖度、植被结构、植被优势种、缓冲带植被生物量等^[3].

分别在每个样点用采水器采集表层、中层、底层的混合水样 1 L,按照《水和废水监测分析方法》(第四版)中水样的保存方法保存后,送实验室分析测定.浮游植物定性样品采集采用 25#浮游生物网划“8”字

轨迹网入水样过滤,收集网内滤液.所有浮游生物定性样品均放入终浓度 4%的福尔马林溶液中保存.另采集 1 L 混合水样装入瓶中,加入 15 mL 鲁戈氏液固定.静置沉淀 48 h 后,浓缩定容至 30 mL,获得浮游植物定量样品,保存待检^[4].

采用重金属采泥器对河流底泥进行分层采集,分别采集 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 深的底泥,装入塑料袋封存.样品经干燥、研磨、过筛后,取过筛 120 目的样品,微波消解处理.底栖动物样品,经剖解后取肌肉、内脏等组织,同样运用微波消解法进行消

解处理.运用火焰原子吸收分光光度法测定 Fe、Mn、Zn、Cu、Cr、Cd、Pb、Ni 的含量^[5].

1.3 评价指标体系构建

1.3.1 评价指标选取

以吴阿娜等^[6]提出的河流健康概念为理论基础,在遵循指标体系选择的科学性、易操作性和主导性原则的基础上,参考河流健康评价的相关研究成果,从河流水文、河流形态、河岸带状况、水质参数、河流生物 5 个方面选取评价指标(表 1).

表 1 河流健康评价指标表
Tab.1 River health assessment indexes

目标层 A	准则层 B	指标层 C	指标说明及计算
河流健康评价 综合指数 A	河流水文 B1	水量状况 C11	采用现场调查以及视觉评价的定性描述方法
		流速状况 C12	采用现场调查以及视觉评价的定性描述方法
	河流形态 B2	弯曲程度 C21	根据河流截弯取直情况进行评分
		河岸稳定性 C22	采用现场调查以及视觉评价的定性描述方法
		河床稳定性 C23	由河床退化或淤积确定
		河道护岸 C24	评价方法以历史资料收集和实地调查及拍照对比为主
	河岸带状况 B3	河岸带宽度 C31	基于河岸带宽度与河流宽度的对比,确定河岸带宽度评估标准
		结构完整性 C32	由乔木、灌木和草本覆盖度是否合适,植被结构组成是否合理确定
		植被覆盖率 C33	流域内植被(林地、草被、灌丛等)面积与流域土地总面积之比确定
	水质参数 B4	水质类别 C41	采用 BOD、COD、NH ₃ 、DO 等指标反映河流水质理化状况
		重金属污染程度 C42	采用重金属综合指数进行评分
		富营养化程度 C43	采用卡尔森综合营养状态指数进行富营养化评价
	河流生物 B5	浮游藻类 C51	根据 Shannon-wiener 生物多样性指数 H 的得分进行评判
		底栖动物 C52	采用 Shannon-wiener 多样性指数进行评分
		鱼类资源 C53	通过定性描述来反映

将广水河河流健康评价体系分为 3 个层次,分别为目标层 A、准则层 B 和指标层 C.其中最高级综合指标为河流健康综合指数,用来反映河流健康状况的总体特征.其下一级指标分别反映河流健康的 5 个组成部分,包括水文状况、河流形态、河岸带状况、水质参数、水生生物.

1.3.2 指标评价标准确定

将河流健康评价标准分为优、良、中、较差、最差五个级别,采用五级分值评分.在咨询专家,参考相关文献与规范的基础上,对每个指标独立确定标准特征值,见表 2.

表 2 指标的评价标准
Tab. 2 The assessment standard of indexes

评价指标	质量离散值				
	5	4	3	2	1
水量(覆盖河道比例)	>90%	70%~90%	50%~70%	30%~50%	30%<
流速状况	极好	好	一般	差	极差
弯曲程度	无取直	少量取直	部分取直	取直未恢复	河流笔直
河岸稳定性(侵蚀)	10%<	10%~20%	20%~50%	50%~80%	>80%
河床稳定性	极好	好	一般	差	极差
河道护岸形式	极好	好	一般	差	极差
结构完整性	极好	好	一般	差	极差
植被覆盖率	>75%	50%~75%	25%~50%	5%~25%	0~5%
水质类别	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
重金属综合指数	0.1	0.2	0.5	0.8	1
富营养化 TLI(Σ)	0~30	30~50	50~60	60~70	70~100
浮游藻类	4.5	3.5	2.5	1.5	1
底栖动物	4.5	3.5	2.5	1.5	1
鱼类资源	极好	好	一般	差	极差

1.3.3 层次分析法确定评价指标的权重

研究权重的确定采用了层次分析法(AHP),此方法是一种定性和定量相结合、系统化、层次化的多因素决策分析方法,可较好地消除主观判断的不确定性^[7].

层次分析法确定权重的基本步骤如下:

(1) 建立递阶层次结构模型

在应用层次分析法之前,首先要建立相应的评价

指标体系,即对评判对象进行层次分析,确立清晰的分级指标体系,给出评判对象的因素集和子因素集,按照评价指标体系的基本关系构建一个递阶层次结构模型,以便对评判对象进行层次分析.

(2) 构造判断矩阵

由专家对同层次内某两个指标进行相互比较,采用定量的标度,判断两个指标之间的相对重要程度,采用 1-9 标度表(表 3).

表 3 指标重要性标度表
Tab.3 The importance of index

标度 b_{ij}	含义	说明
$b_{ij} = B_i / B_j = 1$	同等重要	表示因素 B_i 与 B_j 比较,具有同等重要性
$b_{ij} = B_i / B_j = 3$	稍微重要	表示因素 B_i 与 B_j 比较, B_i 比 B_j 稍微重要
$b_{ij} = B_i / B_j = 5$	明显重要	表示因素 B_i 与 B_j 比较, B_i 比 B_j 明显重要
$b_{ij} = B_i / B_j = 7$	非常重要	表示因素 B_i 与 B_j 比较, B_i 比 B_j 非常重要
$b_{ij} = B_i / B_j = 9$	绝对重要	表示因素 B_i 与 B_j 比较, B_i 比 B_j 绝对重要
$b_{ij} = B_i / B_j = 2, 4, 6, 8$	中值	上述两相邻判断的中值
倒数	反比较	表示因素 B_j 与 B_i 比较得到判断 b_{ji} , 则 $b_{ji} = 1/b_{ij}$

采用两两比较的方法,对相关指标进行相对重要性判断,根据表 3 给出相应分数,对于不同层次的指标,可得到若干个不同的判断矩阵(表 4).

表 4 A-B 判断矩阵
Tab.4 A-B judgement matrix

A	B_1	.....	B_i	.....	B_n
B_1	b_{11}	.....	b_{1i}	.....	b_{1n}
.....
B_i	b_{i1}	.....	b_{ii}	.....	b_{in}
.....
B_n	b_{n1}	.....	b_{ni}	.....	b_{nn}

(3) 层次单排序及其一致性检验

每一层次对上一层次中某因素的判断矩阵的最大特征值对应的归一化特征向量的各个分量,就是本

层次相应因素对上层次某因素的相对重要性的排序权重值,即相应指标的单排序权重,计算过程借助于 Yet Another AHP 软件.

(4) 层次总排序及其一致性检验

最后,逐层计算各层次中的诸因素关于总目标层的相对重要性权重值.计算方法是将最后一层各元素的权数依次乘以上一层受控元素的相对权数,从而形成各元素对于总目标的绝对权重.

按照层次分析法的步骤,根据专家意见和评价目标,结合广水河的现状,计算出各下级评价指标对于上级评价指标层的权重系数,及指标层权重排列次序,结果如表 5 所示.

表 5 广水河健康评价指标权重
Tab.5 Index weight in health assessment of Guangshui river

目标层 A	准则层 B	具体指标 C	指标层 C		重要性排序
			C 层指标相对于 B 层的权重	C 层指标相对于 A 层的权重	
河流健康 指标体系(A)	河流水文 B_1 (0.2137)	水量状况(C11)	0.7496	0.1602	3
		流速状况(C12)	0.2499	0.0534	8
	河流形态 B_2 (0.0486)	弯曲程度(C21)	0.1379	0.0067	15
		河岸稳定性(C22)	0.4033	0.0196	10
		河床稳定性(C23)	0.2613	0.0127	13
		河道护岸形式(C24)	0.1975	0.0096	14
	河岸带状况 B_3 (0.0791)	河岸带宽度(C31)	0.2339	0.0185	11
		结构完整性(C32)	0.2339	0.0185	11
		植被覆盖率(C33)	0.2655	0.021	9
	水质参数 B_4 (0.3396)	水质类别(C41)	0.5063	0.1719	1
		重金属综合指数(C42)	0.2972	0.1009	4
		富营养化程度(C43)	0.1966	0.0667	7
	河流生物 B_5 (0.3403)	浮游藻类(C51)	0.2942	0.1001	5
		底栖动物(C52)	0.2194	0.0746	6
		鱼类资源(C53)	0.4864	0.1655	2

1.4 评价方法的确定

综合指数评价法是常用的多指标综合评价法,通过不同的途径获得每个评价指标的现状值,并将各指标的现状值进行量化,然后按一定的模型加权合成计算出评价综合值,即河流系统的综合健康指数值,最后根据综合健康指数的分级数值范围,确定河流系统健康的等级^[8].

具体步骤如下:①确定各个评价指标的现状值;②将各个评价指标的现状值无量纲化;③确定各个评价指标的权重;④计算综合健康指数值,

$$E = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot W_i$$

式中 E 为综合健康指数,表征整个河流系统的健康状

况; n 为评价指标的个数; λ_i 为各个评价指标的无量纲化值; W_i 为各个评价指标的权重.

2 结果与讨论

2.1 AHP-综合指数法对广水河健康状况的评价

根据对广水河河流健康评价指标现状值的调查分析和度量得出单项指标的评价结果,根据指标现状值评价结果和表 3 各指标权重,分别计算出目标层、准则层和指标层的评价指数,根据五级分值评分标准可得出准则层和目标层所处的健康水平.各层次的评价指数见表 6.

表 6 各层次评价指数

Tab.6 Evaluation indexes at all levels

目标层 A	准则层 B	指标层 C	评价值	健康水平	评级权重	指标层评价指数	准则层评价指数
广水河河流健康评价	河流水文(B1)	水量状况(C11)	4	健康	0.1602	0.6408	0.801
		流速状况(C12)	3	亚健康	0.0534	0.1602	
	河流形态(B2)	弯曲程度(C21)	4	健康	0.0067	0.0268	0.1621
		河岸稳定性(C22)	3	亚健康	0.0196	0.0588	
		河床稳定性(C23)	3	亚健康	0.0127	0.0381	
		河道护岸形式(C24)	4	健康	0.0096	0.0384	
	河岸带状况(B3)	河岸带宽度(C31)	3	亚健康	0.0185	0.0555	0.2135
		结构完整性(C32)	4	健康	0.0185	0.074	
		植被覆盖率(C33)	4	健康	0.021	0.084	
	水质参数(B4)	水质类别(C41)	3	亚健康	0.1719	0.5157	0.9176
		重金属综合指数(C42)	2	病态	0.1009	0.2018	
		富营养化程度(C43)	3	亚健康	0.0667	0.2001	
	河流生物(B5)	浮游藻类(C51)	4	健康	0.1001	0.4004	1.1207
		底栖动物(C52)	3	亚健康	0.0746	0.2238	
		鱼类资源(C53)	3	亚健康	0.1655	0.4965	
累计					1	3.2149	3.2149

2.2 指标权重分析

2.2.1 准则层对于目标层的权重分析

根据表 3,准则层 5 个指标对于目标层的权重如图 2 所示.

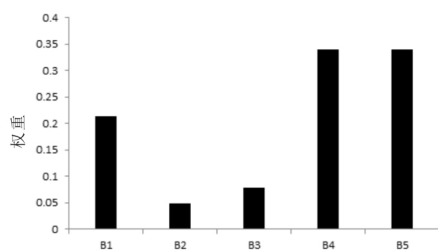


图 2 准则层 B 对于目标层 A 的权重分布图

Fig.2 Comparison of indicator weight in B layer relative to A layer

由图 2 可知,河流水文(B1)、河流水质(B4)和河流生物(B5)所占权重较大,权重分别为 0.2137、0.3396、0.3403,其中河流生物(B5)所占权重最大,即在准则层 5 个指标中,河流生物是影响广水河河流健

康状况最重要因素;河岸带状况(B3)和河流形态(B2)依次次之,权重分别为 0.0791、0.0486.河流生物是判断河水是否受到污染的有效参照物.河水中不同化学物质的分布和浓度,将决定河流生物的类型构成.水生生物群落与水环境有着错综复杂的相互关系,对水质变化起着重要作用.水生生物的存亡标志着水质变化程度,通过水生生物的调查,可以评价水体被污染的状况^[9].

2.2.2 指标层对于目标层的权重分析

根据表 3,指标层 15 个指标对于目标层的权重分布如图 3 所示.由图 3 可知,水质类别(C41)所占权重最大,为 0.1719,即在指标层 15 个指标中,水质类别是影响广水河河流健康最重要的因素,水质的好坏不仅影响到河流中水生生物的生存和繁殖,还会对水体的使用价值及人们的生产生活造成一定程度的影响;鱼类资源(C53)所占权重次之,为 0.1655,鱼类对

河流生态系统非常重要,鱼类作为河流中食物链的重要一环,以浮游生物为食,对于藻类大量繁殖有一定程度的抑制作用^[10],并且有些鱼类对于水质变化非常敏感,对水质判别具有指示作用,同时鱼类也是人

类非常重要的食物来源;再次是河流水量(C11),所占权重为 0.1455,河流水量是河流保持动力和活力的前提,充足的水量不仅可以保证河流生态系统的需

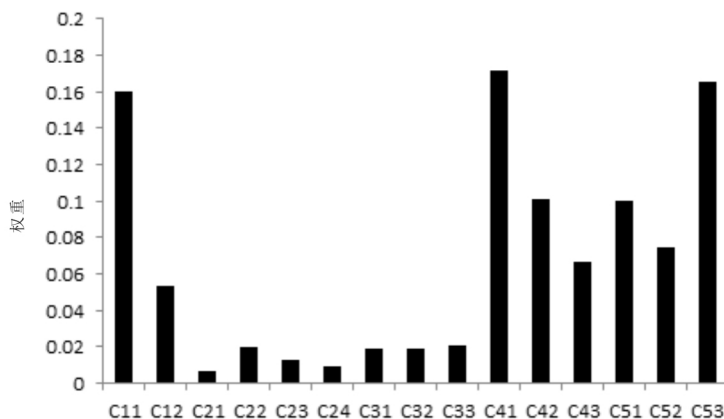


图 3 指标层 C 对于目标层 A 的权重分布图

Fig.3 Comparison of indicator weight in C layer relative to A layer

2.3 评价结果分析

2.3.1 准则层评价结果分析

在准则层 5 个指标中,水文状况的评价指数为 3.7481,水文状况的健康水平处于亚健康-健康之间,且偏向于健康;河流形态的评价指数为 3.3354,河流形态的健康状况处于亚健康-健康之间,且偏向于亚健康;河岸带状况的评价指数为 2.6993,河岸带的健康状况处于病态-亚健康之间,且偏向于亚健康;水质状况的评价指数为 2.7031,水质健康状况处于病态-亚健康之间,主要原因是重金属造成水体污染;河流生物的评价指数为 3.2942,河流生物的健康状况处于亚健康-健康之间,且偏向于亚健康,这是由于广水河鱼类资源在不断地减少所致。

2.3.2 目标层评价结果分析

广水河河流健康状况的综合评价指数为 3.2149,健康水平处于亚健康-健康之间,且偏向于亚健康。现阶段广水河的河流健康状况主要存在以下问题:水量和水资源承载力不足;部分河岸坍塌;水体污染,部分河段呈轻度富营养化状态;水土流失加剧,进而导致河床淤积;水生生物减少等。造成广水河河流健康水平低下的原因有很多,主要体现在以下两个方面:一是自然因素,广水河为季节性河流,流域内的降水量年内分配不均匀,水量变化较大,从而导致水位、水质和生态系统等多方面的不断变化,同时也对供水和农田灌溉产生一定影响;二是人为因素,河流采砂、畜牧业养殖、生活污水和工业废水的排入,对河流的水质和自然形态造成了一定程度的改变,此外,人类对水

生资源的过度掠夺也导致了广水河生态系统的退化,最终造成广水河一系列的健康问题。

广水河目前总体处于亚健康水平,必须采取必要的保护措施阻止其进一步恶化,同时对受损的河段进行修复,使广水河能够保持良性的、可持续的健康发展状态。根据对广水河河流健康状况的评价及分析,结合广水河的实际状况,提出以下建议:加大广水河河流自然形态保持和维护的力度;严格控制采砂活动,从优化河势的角度规划采砂^[12]作业,避免采砂过度的状况发生,这同时可以减少河床泥沙淤积的现象;对坍塌河岸进行修复,尽可能以生态护岸或半生态护岸的形式进行河岸建设,通过引入植被,在加固河岸,减少水土流失的同时,提高河岸的植被覆盖率^[13],加强防洪林建设,进一步巩固河岸。

3 结语

在借鉴国内外相关研究成果的基础上,结合广水河的实际状况,总结出一套适合广水河的健康评级体系与方法,运用 AHP-综合指数法对广水河健康状况进行了评价,评价结果表明广水河健康综合指数为 3.2149,健康状况总体处于亚健康水平。通过评价结果对广水河的健康问题进行分析,找到了广水河健康问题的主要原因:水量和水资源承载力不足;部分河岸坍塌;水体污染,部分河段呈轻度富营养化状态;水土流失加剧,导致河床淤积;水生生物减少,鱼类减少。结合这些问题,本文提出了相应改善及修复的建议,

对于探索合理处理河流治理、开放和保护之间的关系有一定的借鉴意义,同时可为促进当地社会、经济和生态环境的协调发展提供参考。

参 考 文 献

- [1] 赵彦伟,杨志峰,姚长青. 黄河健康评价与修复基本框架[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 131-134.
- [2] ROSGEN D L. Applied river morphology [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1996, 127(5): 856-856.
- [3] 郭春秀,刘世增,杨自辉,等. 石羊河中下游河岸植被的结构及其功能研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(28): 115-120.
- [4] SCHLÜTER L, LAURIDSEN T L, KROGH G, et al. Identification and quantification of phytoplankton groups in lakes using new pigment ratios—a comparison between pigment analysis by HPLC and microscopy [J]. Freshwater Biology, 2006, 51(8): 1474-1485.
- [5] 向勇, 繆启龙, 丰江帆. 太湖底泥中重金属污染及潜在生态危害评价 [J]. 大气科学学报, 2006, 29(5): 700-705.
- [6] 吴阿娜. 河流健康评价: 理论、方法与实践 [D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
- [7] 程乾生. 层次分析法 AHP 和属性层次模型 AHM [J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(11): 25-28.
- [8] 贾玉霞. 环境质量综合指数评价方法的应用 [J]. 城市环境与城市生态, 2003(s1): 13-14.
- [9] 高世荣, 潘力军, 孙凤英, 等. 用水生生物评价环境水体的污染和富营养化 [J]. 环境科学与管理, 2006, 31(6): 174-176.
- [10] 杜胜蓝. 富营养化水体藻类去除方法研究 [D]. 天津: 南开大学, 2011.
- [11] ANDERSSON L, GUMBRICHT T, HUGHES D, et al. Water flow dynamics in the Okavango river basin and delta— a prerequisite for the ecosystems of the delta [J]. Physics & Chemistry of the Earth Parts A/b/c, 2003, 28(20): 1165-1172.
- [12] 李振. 大力实施节水农业推进节水型社会建设 [J]. 河北水利, 2008(s1): 72-73.
- [13] 陈武龙. 基于河床演变对信江鹰潭段采砂规划的研究 [D]. 南京: 河海大学, 2006.

(责任编辑 姚春娜)